

## 船外機用パワートリム&チルトモーターの原価低減 Cost reduction of Power Trim & Tilt motor for outboard units

加地 裕考 辻村 拓

### Abstract

Yamaha Motor Electronics Co., Ltd. (hereafter, the company) supplies POWER TRIM & TILT MOTOR (hereafter, PTT motors) for hydraulic pressure generation for lifting outboard motors.

Although the company has been involved in the development and manufacturing of PTT motors for medium-sized outboard motors, we realized there was margin for improvement in terms of overall quality in response to the requirements to further reduce the cost when we first entered the PTT motor market for large outboard motors.

This paper introduces the company's development efforts aimed at reducing these costs.

## 1 はじめに

ヤマハモーターエレクトロニクス株式会社(以下、当社)は船外機昇降用の油圧発生用 POWER TRIM & TILT MOTOR(以下、PTT モーター)を供給している。

当社では以前から中型船外機向けの PTT モーターを開発・製造していたが、大型船外機向けの PTT モーターへ初参入した際に、要求に対して全体に品質的に余裕があり、さらなるコストの作り込みが課題であった。本稿ではコスト低減を目的とした開発の取り組みについて紹介する。

## 2 開発の狙い

今回は材料費・加工費を抑えるため、モーター性能の最適化を検討した。また当社では部品の海外調達を進めている背景もあり、海外生産・現地調達を前提とした。これら全体的な仕様の見直し、特に海外調達可能な部品への置換、さらに組立工程の簡素化による大幅な原価低減に挑戦した。

## 3 システム構成

PTT システムの船外機への搭載状況と外観を図1に、PTT システムの油圧回路と作動概要を図2に示す。

### <1> POWER TRIM & TILT ASSY.

ギアポンプから各シリンダへ作動油を出し入れすることで各ロッドを伸縮する。また、船外機が上がっている状態を維持するために油圧を保持する。

### <2> POWER TRIM & TILT MOTOR

モーター出力軸がギアポンプを駆動する。  
モーターの回転方向を変えることでギアポンプから吐出される作動油の方向を切り替える。

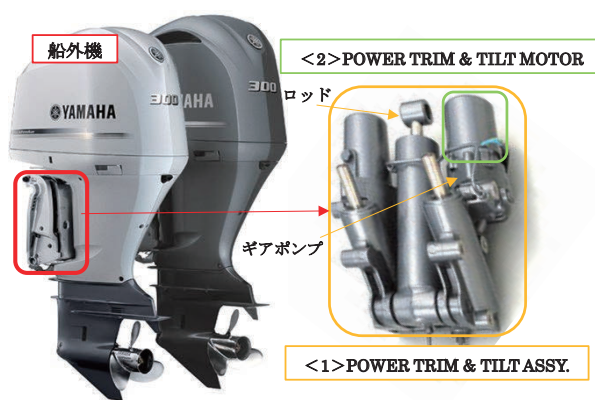


図1 PTT システムの搭載状況と外観

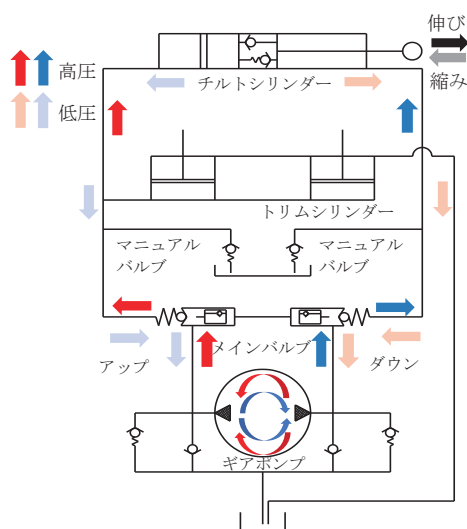


図2 PTT システムの油圧回路と作動概要

## 4 コスト低減の取り組み

モーター性能の最適化については磁界解析を活用した。前提条件および解析水準はそれぞれ以下のとおり設定し、磁界解析を行い最適解を導き出した。

●前提条件

- ・ マグネット材料は海外調達可能な6材(図6)へのグレードダウン
- ・ モーター外寸は現行生産品以下、モーター性能は要求負荷での性能を満足
- ・ ヨーク材質はPTTシステムにモーターを組み込み後に塗装(以下、ASSY. 塗装)を実施するため、樹脂+鉄材インサートから鉄材+電着塗装

●解析水準

- ・ アマチュア長さ:2水準
- ・ マグネット厚さ:2水準
- ・ 巻線仕様組合せ:4水準

巻線電流による磁力とマグネットの合成磁力により発生するトルクと出力を導き出しているため、上記水準の組み合わせにてトルクと出力の比較をした。一例として図3に回転中の磁束密度分布を確認した磁界解析結果を示す。

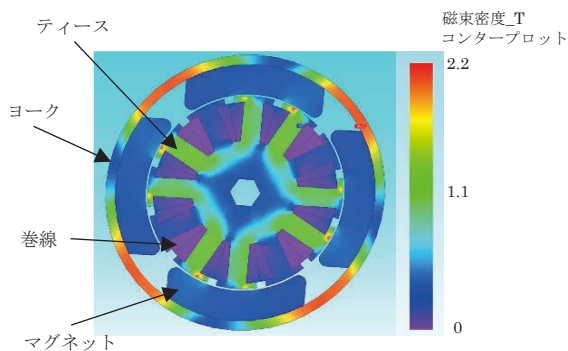


図3 磁界解析(参考)

図4にモーター構成比較図を示す。主なモーターの構成部品は、アマチュア、ヨーク、マグネット、ブラケット、コードである。現行部品のコスト構成を図5に示す。

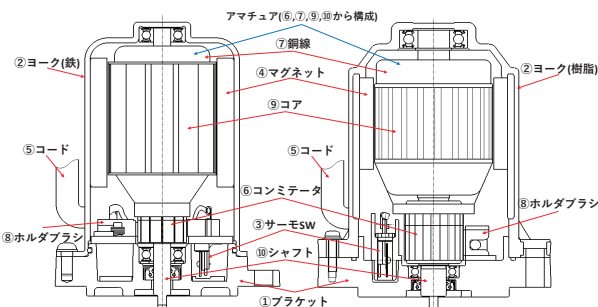


図4 モーター構成比較図(左:開発仕様、右:現行仕様)

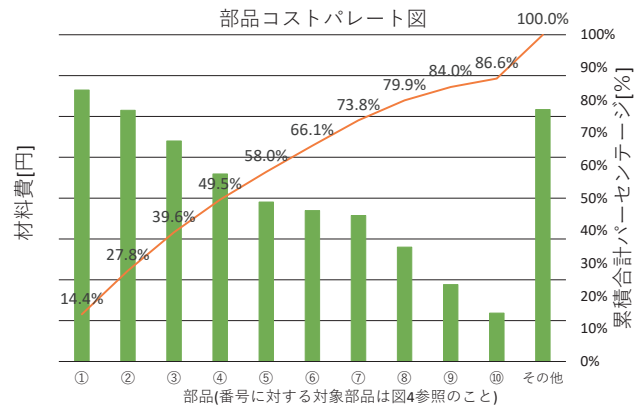


図5 現行部品のパレート図

以下、コスト低減のための取組内容について紹介する。

4-1. マグネットの材料変更

海外調達にあたり入手性の課題を持つ部品の一つとしてマグネットがある。現行生産品の日本製は12材を採用していたが、海外調達で入手可能なものは6材までである。また、12材は高グレードであり、図5の④に示すコストが高い部品の一つである。

12材から6材へ変更する場合、有効磁束が減少しモーター性能が低下してしまうため、同等の有効磁束を確保する必要がある。図6にマグネットのグレードと残留磁束密度(Br)の関係を示す。12材に対してBrが約13%小さいため、マグネットの厚さを13%以上厚くすることにより6材でも必要な有効磁束を得ることができ、従来同等のモーター性能を得ることが可能となる。

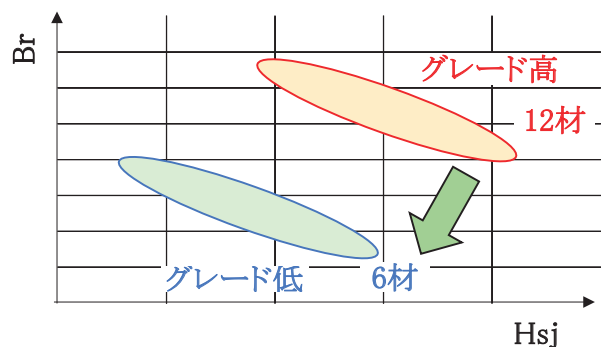


図6 マグネット グレード分布(文献1を基に作成)

モーター性能に関連する要素として、回転体であるアマチュアとの組合せもある。モーター外径を固定した場合、マグネットを厚くするとアマチュア径は小さくなり出力は減少する。そこで、マグネットの厚さと長さ、アマチュア径と長さおよび巻線仕様の最適組合せを磁界解析にて検討し、さらに実機で検証した。

表1 性能解析結果

要求	モータートルク 低負荷時		モータートルク 高負荷時		最大出力 [W]
	電流	出力	電流	出力	
	A[A] 以下	B[W] 以上	C[A] 以下	D[W] 以上	
現行 (要求比 ※1)	79%	107%	90%	123%	E
解析結果 (要求比 ※1)	78%	109%	93%	115%	79% (E比較)

※1 要求比: 要求値に対する実測値及び解析結果の割合

表1に性能解析結果を示す。開発仕様は現行仕様より最大出力が低くなるものの要求出力は満たせることが分かった。ただし、現行生産品に対し高負荷時の出力から最大出力までの余裕度が低下するため、生産での出力バラツキを抑制する必要がある。出力バラツキの要因を調査した結果、マグネットの磁束量のロット間バラツキが大きく、磁束量の最大・最小品で確認するとモーター性能に影響していることが分かった。そこで、マグネットメーカーにて製造ロット毎に磁束量を確認しマグネットの厚さを調整することで磁束量を管理することにした。これにより、モーター出力のバラツキを抑え工程能力を満足することが可能となった。表2に開発仕様での工程能力を示す。

表2 最終モーター性能

要求	モータートルク 低負荷時		モータートルク 高負荷時		最大出力 [W]
	電流[A]	出力[W]	電流[A]	出力[W]	
	A[A] 以下	B[W] 以上	C[A] 以下	D[W] 以上	
AVE. (要求比 ※1)	76%	111%	88%	121%	82% (E比較)
$\sigma$	0.36	1.60	0.60	4.62	
CP ※2	6.52	3.82	5.86	6.91	

※2 Cp(工程能力指数)

以上のことから、6材マグネットでも要求性能を満足できる仕様に見直すことができた。

#### 4-2. アマチュア部品費削減と生産性向上

当社では、アマチュア巻線機の仕様として同時巻線機とフライヤー巻線機がある。同時巻線の特徴としては太い銅線(約φ2程度)を巻くことができ、多くの電流を流せることから高出力が得られ大型モーターに採用することが多い。同時巻線では銅線を予め必要な長さ、必要な本数にカットしておき、同時にアマチュアのティースに巻く。対してフライヤー巻線は細い銅線(約φ1程度)で巻くことから小型～中型モーターに採用することが多い。フライヤー巻線では一本の銅線をアマチュアのティース

に順次巻いていく。当社の設備はフライヤーが対に配置されており、2箇所同時にアマチュアのティースへ巻くことが可能なダブルフライヤー巻線機となっており、短時間での巻き上げが可能である。現行生産品は同時巻線機を採用していたが、デメリットとして使用する銅線の太さや本数に制約があり汎用性が低いため、日本でしか使用していない。また、アマチュア1台を製造するのに約2分かかる。対してフライヤー巻線機は銅線の太さによらず海外拠点所有の汎用巻線機で対応可能である。また、アマチュア1台を製造するのに約0.5分と同時巻線機に比べて約1.5分の短縮が可能となり、工数面からはフライヤー巻線機の方が有利である。

しかし、上述の通りフライヤー巻線機では細線を使用するため、大きな電流が流せず最大出力は低下する。そのため、表1のように最大出力が低くても、要求性能を満足できる巻線仕様を検討した。さらに、少しでも出力の損失を抑えるため、シャフト径およびベアリング径を約30%小径とし、損失を減らすことで出力の最適化を図った。その結果、アマチュアの巻線仕様は銅線径を約40%減とし、銅線使用量も約25%削減できた。また、アマチュアの構成部品であるコンミテータにおいては、細線化により専用部品から汎用品が使用できるようになり(図7)、大幅に部品費を削減することができた(図10)。

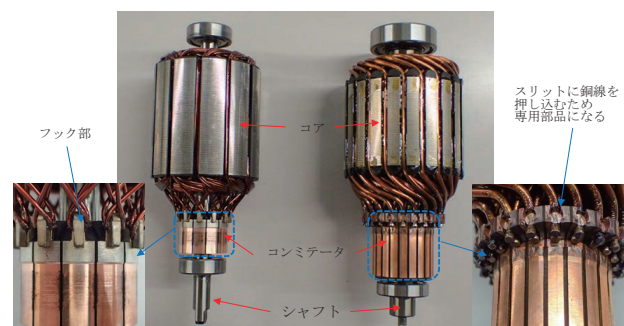


図7 アマチュア仕様差(左:開発仕様、右:現行仕様)

#### 4-3. ヨークの材料変更

図5にて材料費が高い部品の一つとしてさらに図5②で示すヨークがある。ヨークの機能としては使用環境が海上ということもあり外観の耐食性が必要となる。現行生産品は樹脂に鉄材のインサート成形と座屈防止用カラー(SUS材+ジオメット処理)で構成されるため材料費が高い。また、現行生産品ではASSY. 塗装しているため、防錆仕様としては余裕があった。また他のモデルでは鉄材のヨークを塗装した後、ASSY. 塗装した製品の採用実績がある。したがって、コスト削減のため鉄材のヨーク+塗装仕様を採用することにした(図8)。



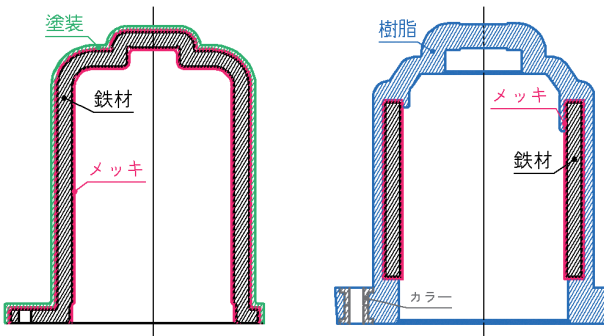


図8 ヨーク仕様差(左:開発仕様、右:現行仕様)

課題となる促進耐食試験による耐食性と塗装密着性についてはモーター単体および ASSY. 塗装の耐食性と密着性も問題にないことが確認できている(図9)。



図9 評価終了時状態(左:耐食性、右:密着性)

#### 4-4. その他部材の対応

図5①ブラケットについては海外調達および ASSY. 塗装を行う前提で防錆処理の仕様を見直した。同⑤コードについては海外調達および、アマチュアの巻線仕様を見直した。同⑧ホルダブラシについてはサーモスイッチの取り付けを段付き構造から平置きに変更したことにより、インサートプレートの平面化と立体交差の廃止にて形状を簡略化し工数削減を実現することができた。これらを含め全ての部品を見直すことで最終的には図10のように大幅な材料費削減を実現することができた。

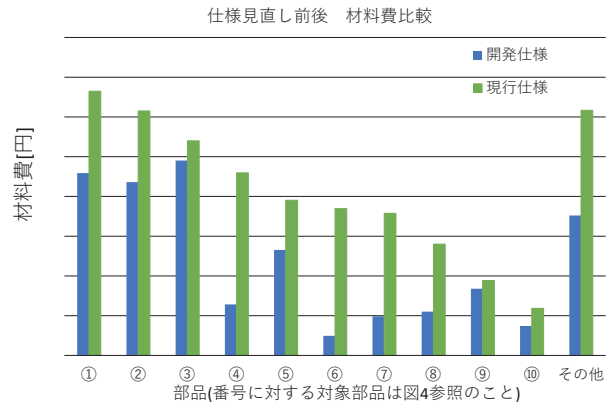


図10 仕様見直し前後による材料費比較

## 5 おわりに

本開発において海外生産・現地調達可能な仕様で要求を成立させることができ、製造原価は58%低減することができた。

今後もヤマハ発動機グループとして、商品のコストと要求品質を両立させられるような開発に努めていく所存である。

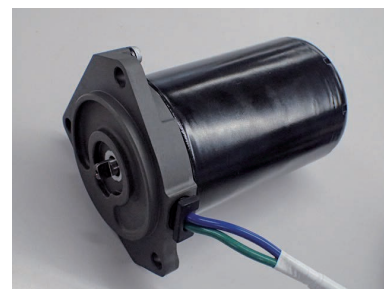


図11 開発品

### ■参考文献

[1] 日立金属株式会社 機能部材事業本部 磁性材料統括部: Permanent Magnets カタログ, p.10, 2019年

### ■著者



**加地 裕考**  
 Hiroataka Kaji  
 ヤマハモーター  
 エレクトロニクス株式会社  
 事業統括部  
 製品技術部



**辻村 拓**  
 Taku Tsujimura  
 ヤマハモーター  
 エレクトロニクス株式会社  
 事業統括部  
 生産技術部